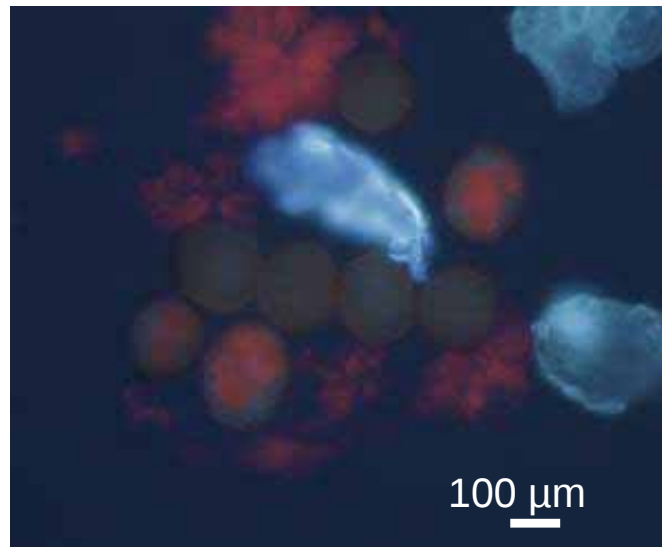


地球型生命の極限環境耐性と宇宙開発への利用

国際宇宙ステーション



7.5GPa (75000気圧) 加圧後のコケ胞子の発芽



岡山大学理学部

三枝誠行

< 概要 >

地球は46億年前に誕生したとされるが、最初の生命はそれから10億年以内に出現したであろう。その後原核生物(バクテリア, シアノバクテリア)の時代が20億年続き, 12億年ほど前に真核生物が出現し, 地球上のさまざまな環境に実に多様な生物が生活するようになった。

地球上には安定した環境ばかりでなく, 生物の生存にはおよそ適しないと思われるような苛酷な環境(極限環境)が存在する。地球の生命の中には, 原核生物・真核生物を問わず, そのようなハードな環境の中でも生き続けることができる種類が数多く見られる。ただし, 極限環境耐性が発現するためには, 体内から水が抜けること(乾眠)が必須の条件であるように思われる。

本講座では, オニクマムシの樽, コケ類胞子および茎葉体, ならびにアルテミアの卵(これは「休眠卵」と呼ぶ)に対して, 7.5ギガパスカル(75,000気圧), 低真空(9.1×10^{-2}), ならびに窒素置換された空気(1気圧)にどの程度耐えられるかを紹介した。それぞれの生物によって特性は異なるが, コケ類胞子や茎葉体は1年以上も低真空においても, 生存している事がわかった。アルテミア卵も, 現在実験中であるが, コケ類と同様か, さらに高い極限環境耐性が期待される。クマムシ類は, コケやアルテミアに比べると耐性はかなり低いようであるが, 乾眠条件への導入方法を改善する事により, さらに高いレベルの極限環境耐性が出現する事が期待される。

地球型生命の誕生には「水」が必要不可欠であったことは, 多くの証拠から示唆されている。一方, 極限環境耐性の発現には, 水があっては困るのである。また, 極限環境耐性生物の探索と極限環境耐性の発現機構の研究が, 将来本格化するだろう宇宙開発に向けてどのように役立てられるかを議論した。

化学進化，そして地球型生命の誕生（仮説）

1 化学進化と原始生命体の誕生



原始地球のようす

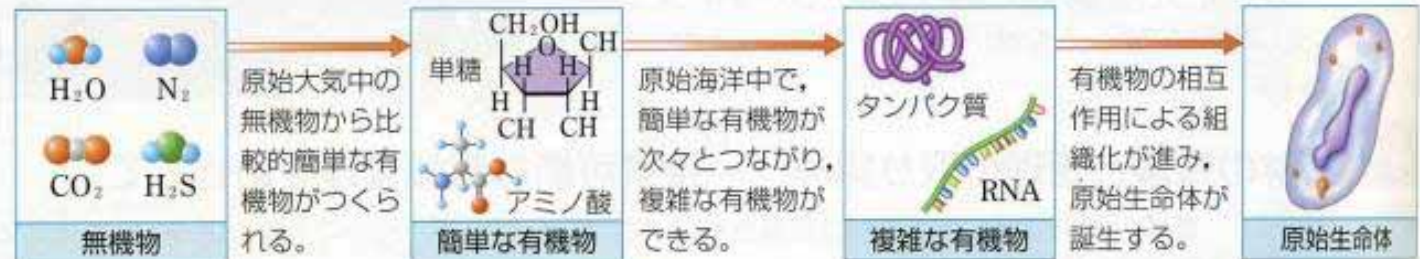
約46億年前，太陽系の惑星の1つとして誕生した原始地球は，微惑星の衝突と合体によってだいに成長した。微惑星の衝突によって多量の熱が生じ，原始地球の表面は溶けてマグマの海が形成された。

微惑星に含まれていた水・二酸化炭素・窒素・硫化水素などの成分は，気体となって原始大気（酸化型大気）を形成した。以前，原始大気の成分は，メタン・水素・アンモニア・水などの還元型大気と考えられていたが，最近では，酸化型大気説が有力である。

微惑星の衝突が少なくなると地表の温度が低下すると，大気中の水蒸気が雨となって地表に降り注ぎ，原始海洋が形成された。約46～40億年前の原始地球は，原始大気中に存在する大量の二酸化炭素による温室効果の働きで高温となり，宇宙からの強い宇宙線，紫外線，火山活動，空中放電などの影響も重なって高いエネルギー状態にあったと考えられている。

化学進化

原始地球上で，無機物からアミノ酸，単糖などの低分子化合物が合成され，それらから生体構成物質となるタンパク質や核酸などの高分子化合物が生成されるまでの過程を化学進化という。



ミラーの実験（生命を作る物質は地球にある素材で作ることができる。）

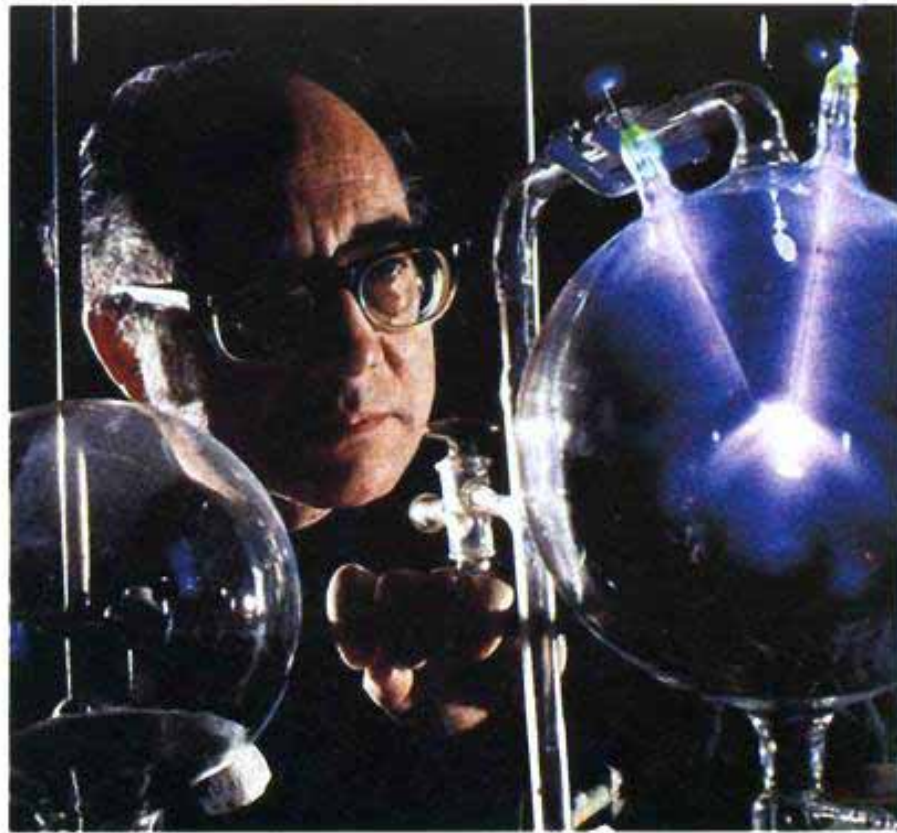
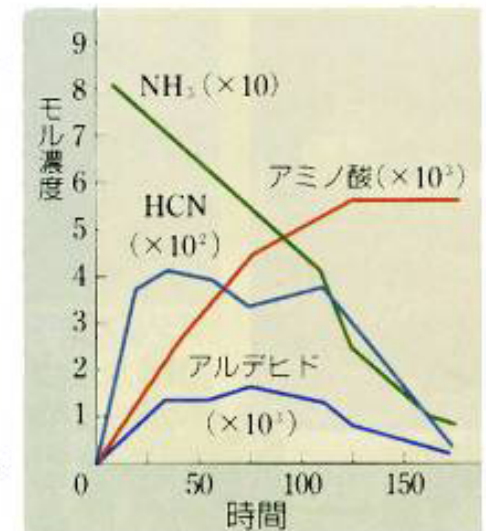
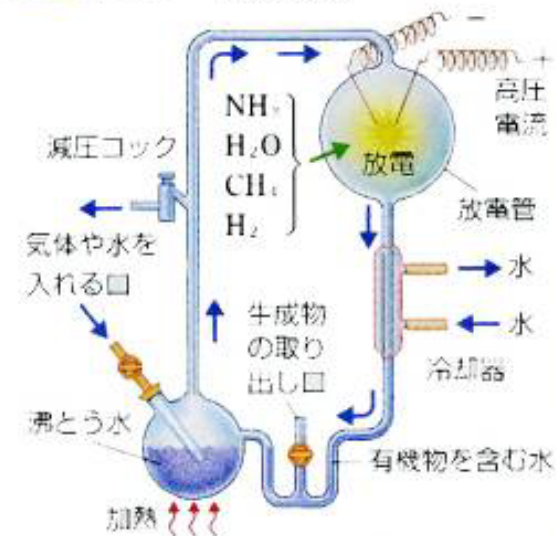


FIGURE 22.3 STANLEY MILLER.

In the classic Miller-Urey experiment, the heated gases thought to comprise the primitive atmosphere were subjected to electrical discharges in a sealed, sterile environment. Residues were collected in the lower chamber and analyzed. Results indicated that some of the simple monomers of life could be produced spontaneously under test conditions.

2 ミラーの実験

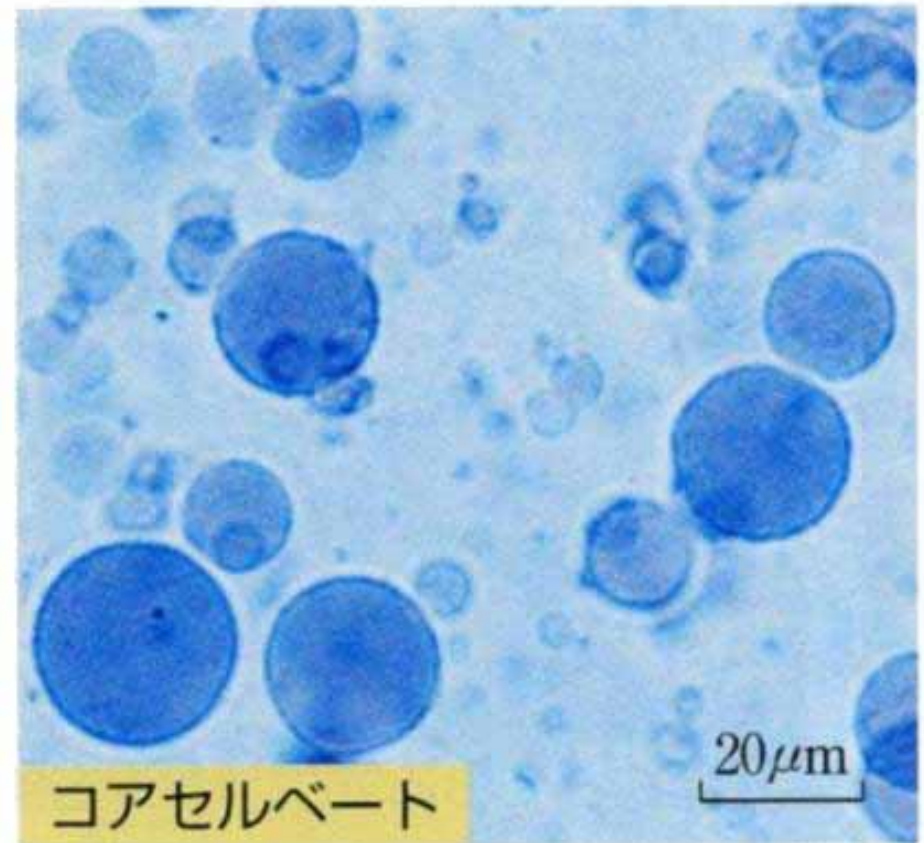


ミラーは、原始地球の状態を人工的に再現し、その中でアミノ酸などの有機物が生成されることを証明した(1953年)。ミラーが実験を行った当初は、原始大気は還元型大気と考えられていた。そのため、実験装置の中に、メタン、水素、アンモニア、水蒸気の混合気体を入れ、6万ボルトの放電を続けた。その結果、反応性に富んだシアン化水素(HCN)などの合成を経て、グリシンやアラニンなどのアミノ酸が生成された。このことから、原始地球でも同じように無機物からアミノ酸などが生成されたと考えた。その後、酸化型大気でも同様の結果が報告されている。

オパーリンが考えた原始生命への道

原始生命体のモデル

コアセルベート…コロイドが集まってできた直径数 μm の液滴で、物質を取り込んだり、内部で化学反応を起こしたりする。ロシアのオパーリンは、コアセルベートを原始生命体のモデルとして提唱した。コアセルベートに酵素タンパク質と基質を加えると、内部で活発な化学反応がみられる。この反応を、代謝の原型とみなす考え方がある。



地球型生命の特性を知る。

どの程度苛酷な環境（極限環境）に耐えられるか？

（例）宇宙環境（国際宇宙ステーション 高度 400km）

高真空 10^{-5} Pa

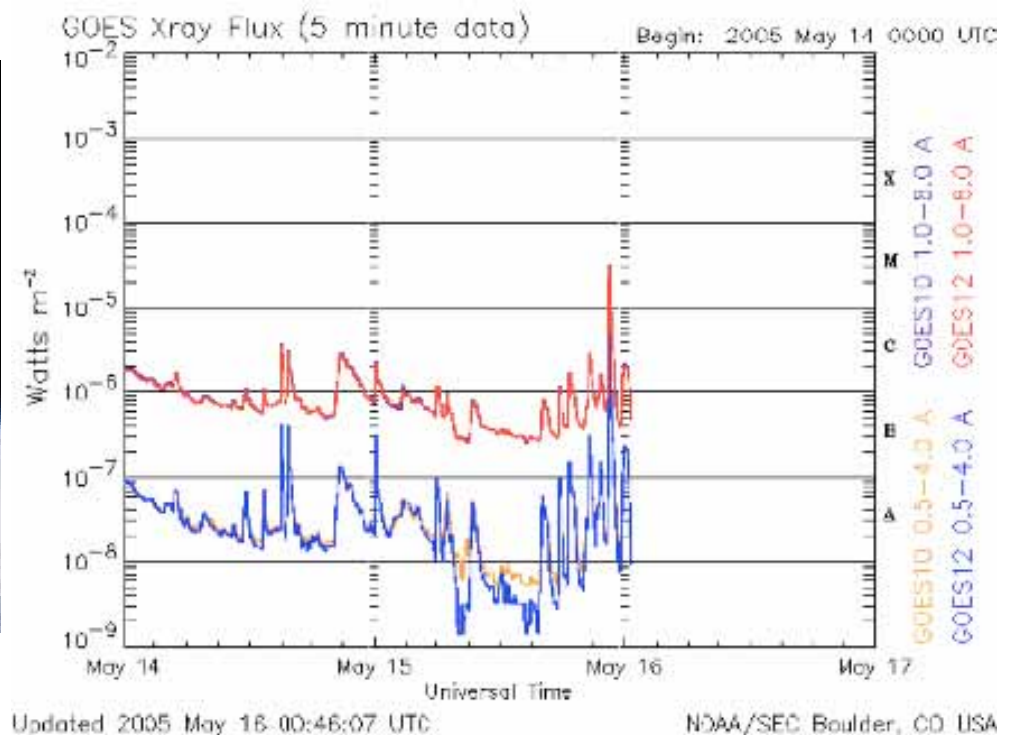
温度 -150 ~ +120

宇宙放射線（ γ 線，X線，紫外線等）

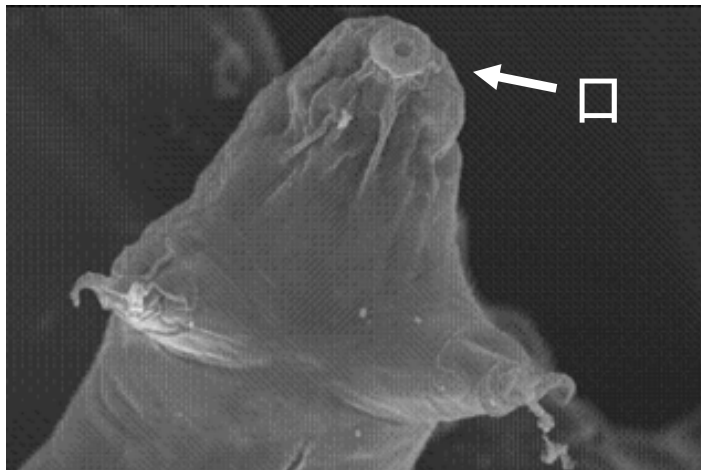
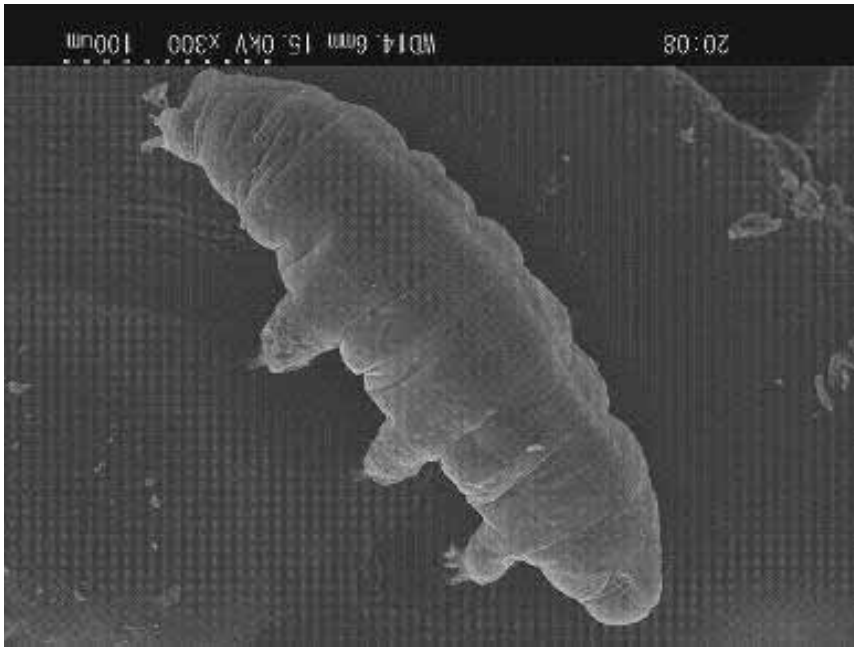
微小重力



国際宇宙ステーション



クマムシ類は極限環境に耐えることが知られている。



オニクマムシ(？)



トゲヤマクマムシ(高知大学, 藤井暁子さん)

オニクマムシの生活史

コケの中に生息



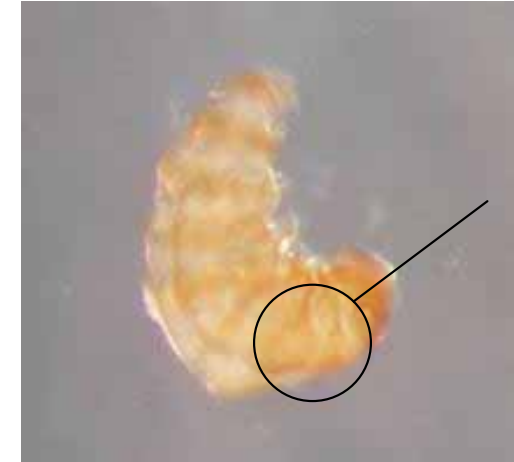
成体



単為生殖

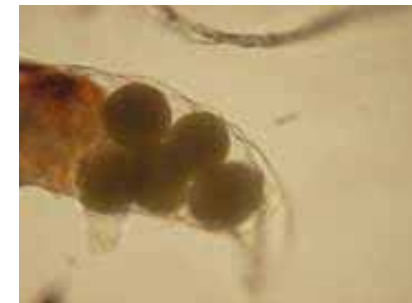


抱卵している雌



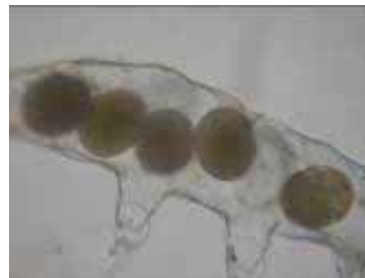
卵

脱皮



産卵直後

5 ~ 6 日で孵化

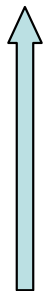


胚発生



2令幼虫

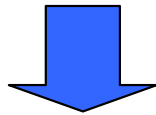
約2週間で成体に



約3週間

クマムシの樽の極限環境耐性

乾燥すると、体内の水分を3%に減少させ「樽」に変化
代謝を通常の0.01%にまで減少



多様な極限環境への耐性発現（現在まで知られている知見）



オニクマムシの樽

温度： - 253 ~ 150

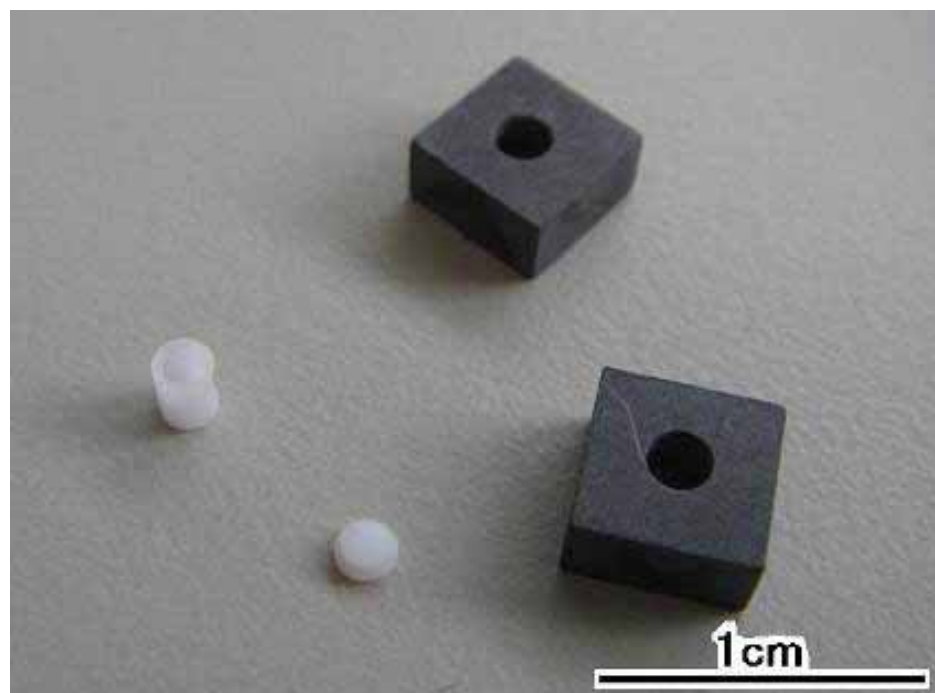
圧力： 真空 ~ 600MPa

放射線： 5700グレイ（ヒトの致死量の1,000倍）

薬品： エーテル、無水アルコールにも耐性

オニクマムシの超高压耐性実験

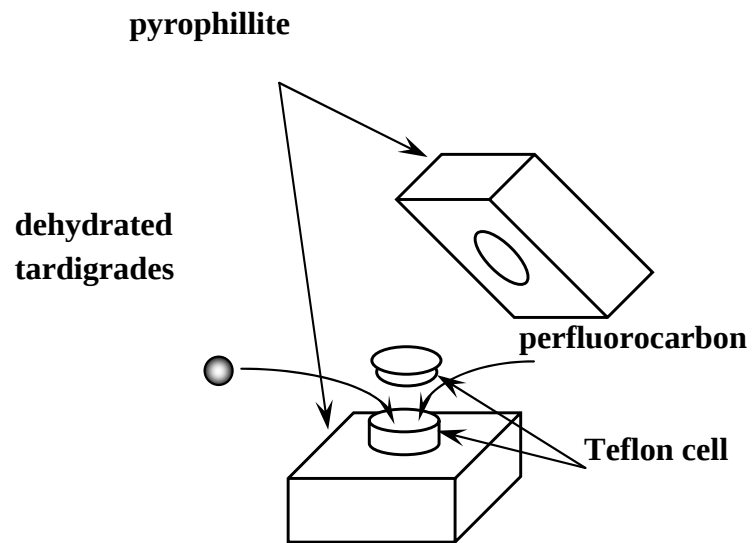
カプセルとハイロフィライト



キュービックアンビルプレス



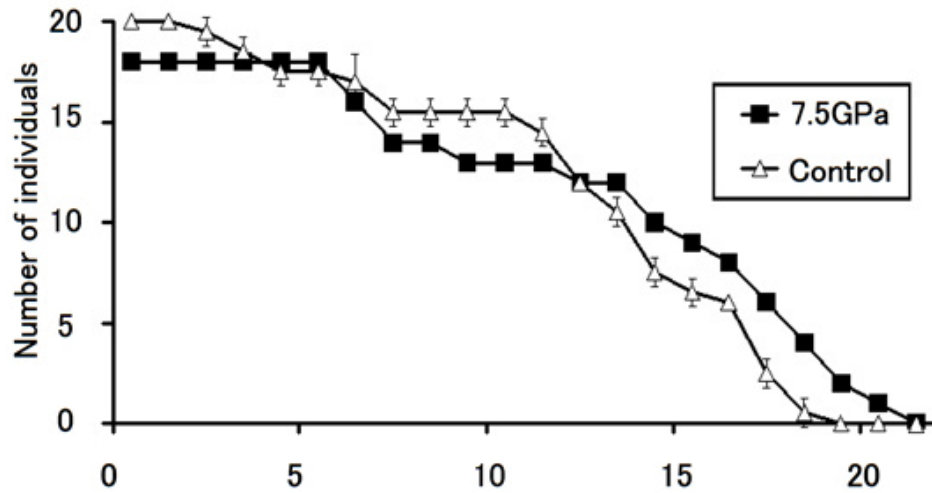
オニクマムシ樽の超高压耐性実験の結果



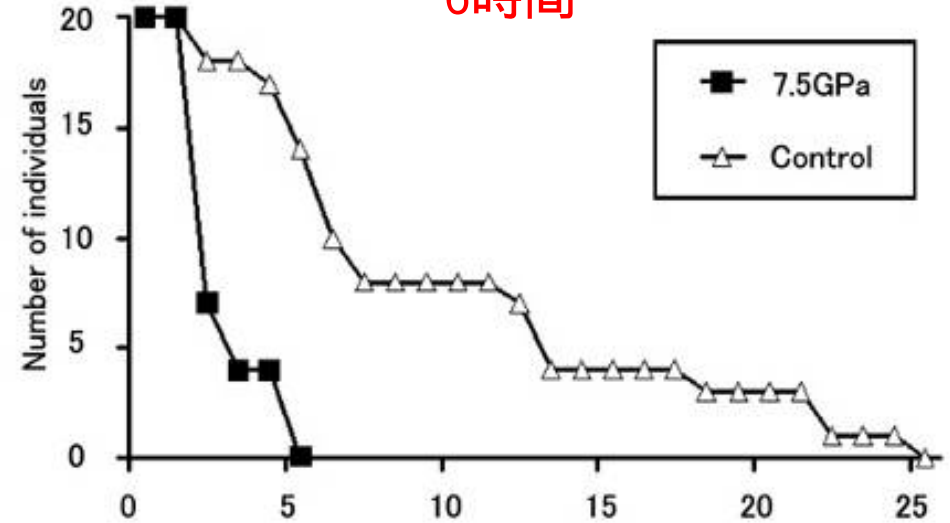
実験条件	個体数	生存数	死亡数	生存率
C_8F_{18} (24 hrs)	20	20	0	100%
7.5 GPa (20 min)	20	18	2	90%
7.5 GPa (3 hrs)	20	20	0	100%
7.5 GPa (6 hrs)	20	20	0	100%
7.5 GPa (12 hrs)	20	5	15	25%
7.5 GPa (24 hrs)	20	0	20	0%

超高压耐性

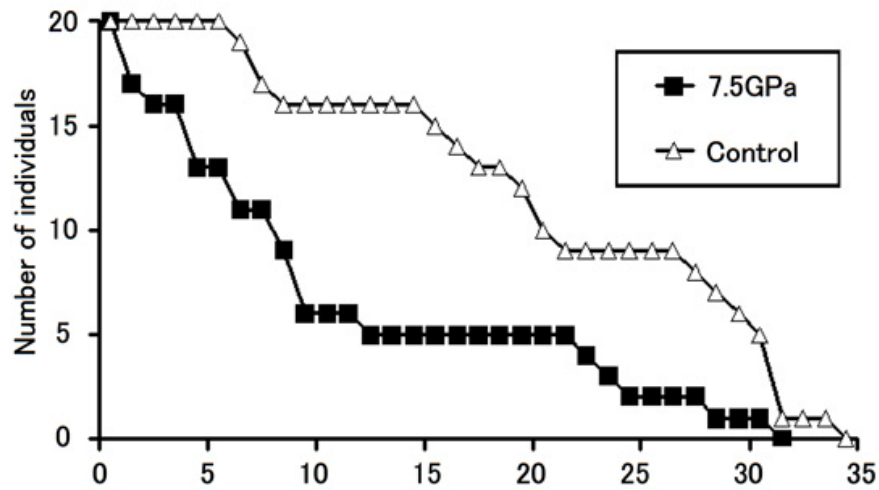
20分



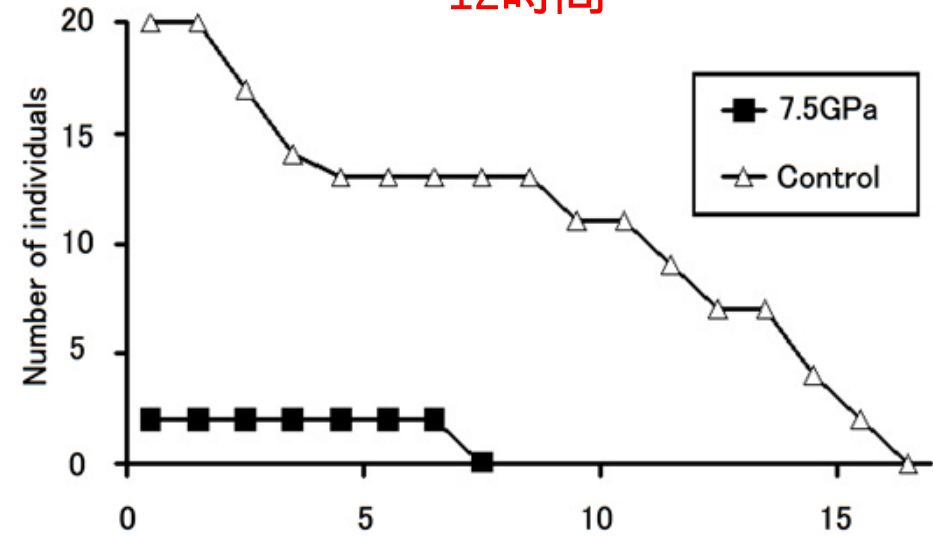
6時間



3時間



12時間



高压にさらした後の生存日数

オニクマムシの極限環境耐性に関して新たに付け加えられた知見

- 1) 高圧 7.5GPa (20) 6時間では 生存率 100%
- 2) 高圧 7.5GPa (20) 24時間では 生存率 0 %
- 3) 低真空 9.1×10^{-2} Pa (20) に2週間おいた実験では
生存率 0 %であった。
- 4) 窒素置換気体 (20) に2週間おいた実験でも
生存率 0 %であった。

さらに強力な極限環境耐性生物を探索する。

耐性試験に用いたコケ類



チヂレゴケ

（岩の表面に生育）



ヒナノハイゴケ

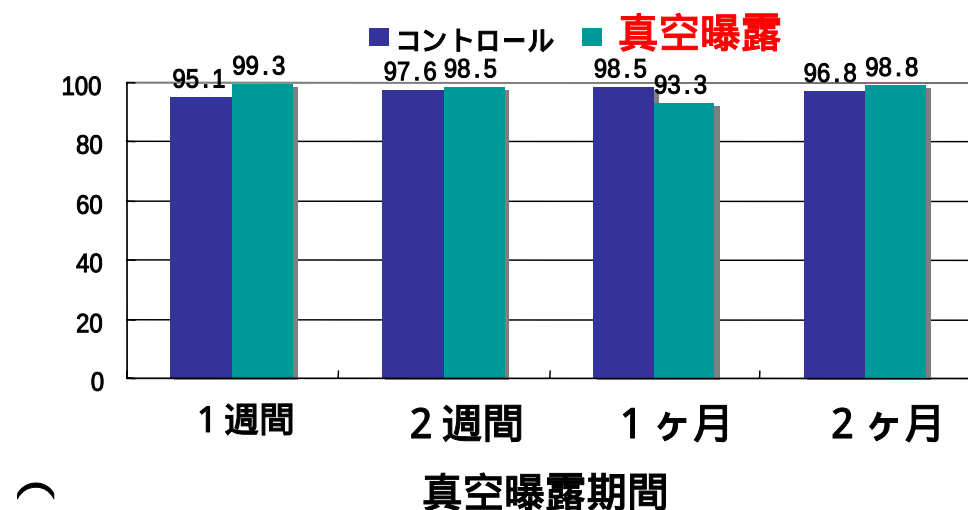
（樹皮の表面に生育）



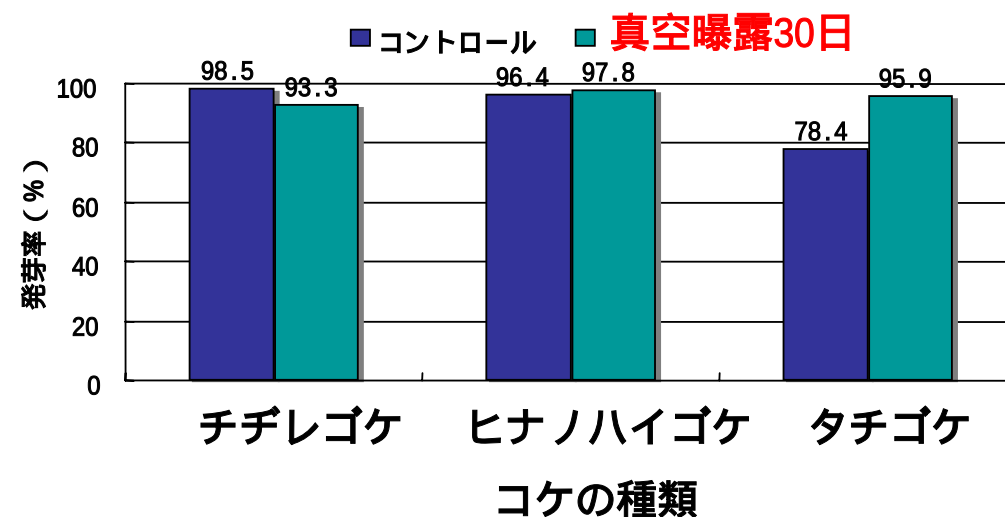
タチゴケ

（地表面に生育）

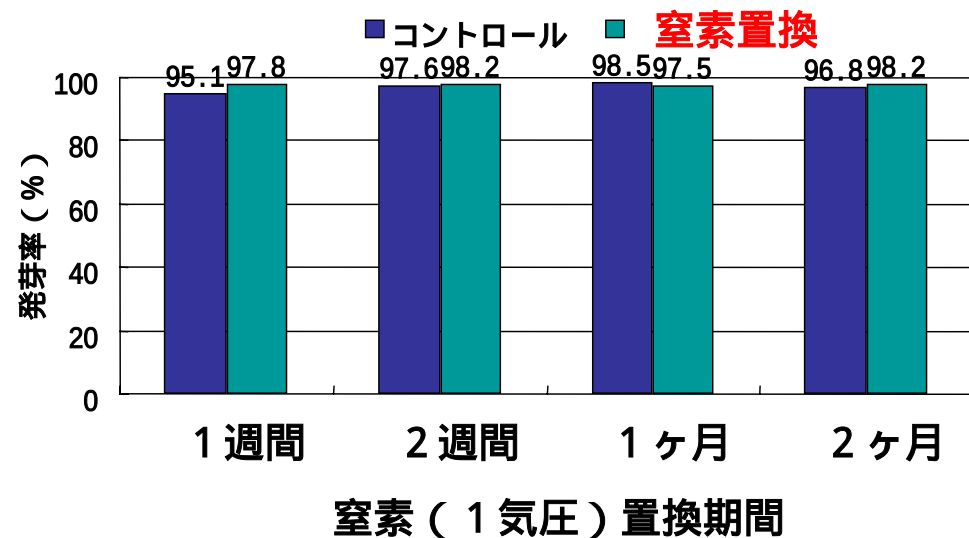
チヂレゴケ胞子の真空耐性



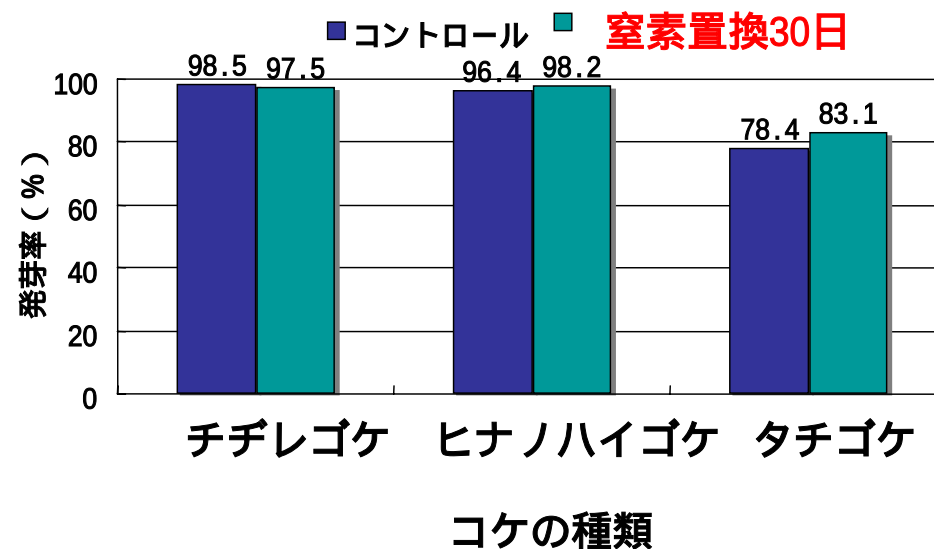
コケの種類と真空耐性



チヂレゴケ胞子の窒素置換

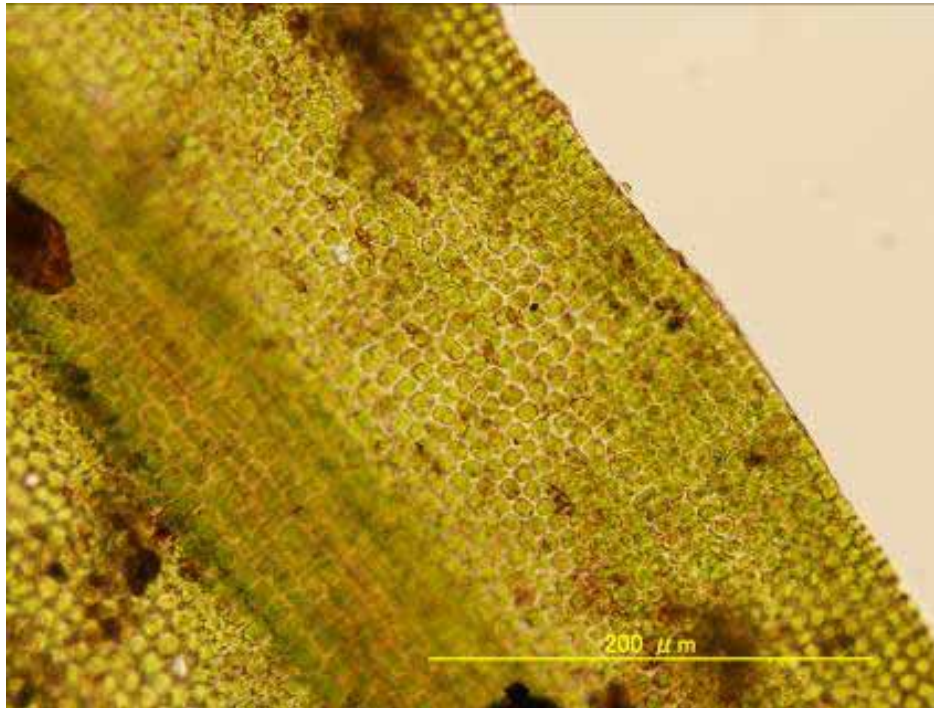


コケの種類と窒素置換

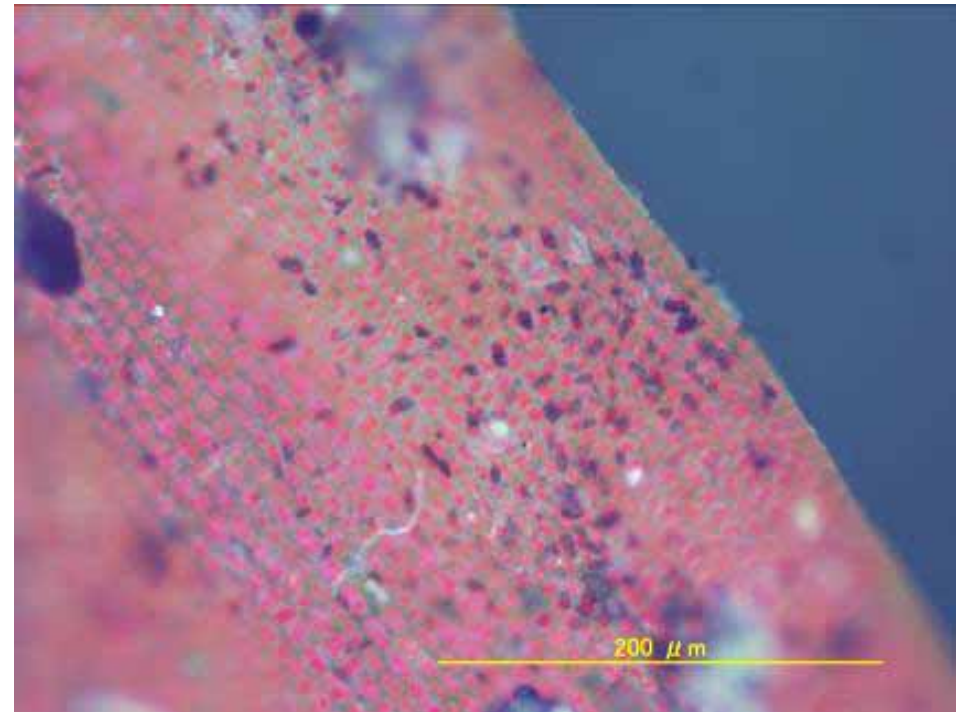


1年以上真空にさらしても茎葉体は生きている。

普通の顕微鏡



蛍光顕微鏡



窒素置換した空気（1気圧）に1年間置いても同じ結果が得られた。

まとめ

地球上にあるさまざまな極限環境

乾燥

低温や高温

強力な放射線

高圧（深海）

低酸素や強風（高山）

いろいろなやり方で乗り越えてきた。

例）乾眠（cryptobiosis）・休眠（diapause）・そのまま水が抜ける

乾眠：クマムシ類，ネムリユスリカ，コケの茎葉体（？）

休眠：多くの昆虫，アルテミア，コルポーダ，コケ類孢子など

特徴：強力な極限環境耐性を発揮する場合には，**体内の「水」が抜けている。**

水：生命の誕生や生命の維持には不可欠

一方，極限環境耐性の発現には水が不要。**O₂も不要（？）**